

관거 및 개수로 하도로 구성된 도시지역에서의 흐름이송 해석기법 비교분석

A Comparative Analysis of Flow Routing Scheme in urban Area with sewers and open channels

이재준*, 이성호**

Jae Joon Lee, Sung Ho Lee

요 지

현재 우리나라에서 사용되고 있는 강우-유출모형은 하도추적 방식을 모형 내에 내장되어 있는 해석절차나 유역내 모든 관거 및 하도에 일괄하여 적용하는 방식으로 되어있어 도시유역과 같이 관거와 하도가 복합적으로 구성되어 있는 경우 적절한 해석방식의 채택이 힘든 실정이다. 따라서 본 연구에서는 관거 및 하도의 개별적인 해석이 가능한 2009년 하천설계기준의 도시유역 유출해석 모형으로 포함된 FFC2Q모형을 이용하여 관거와 하도가 복합적으로 구성되어 있는 홍제천 유역을 선정하여 흐름이송 해석방법을 다양하게 설정하여 강우-유출 특성을 분석하고 실측자료에 대한 모의 방식별 분석결과에 대한 적합도를 분석하였다.

적합도 분석결과 하도에 Muskingum-Cunge법, 관거에 Kinematic-Wave법을 적용하여 흐름이송해석을 하는 경우가 가장 적합한 것으로 나타났다.

핵심용어 : 하도추적, 관거, 하도, FFC2Q모형

1. 서론

대다수 도시유역은 하천변에 위치하거나 하천이 도시를 관류하는 개수로 형태의 인공하도 또는 자연하도와 소규모의 우수관망이 그물처럼 연결되어 있는 관거 및 하도의 복합적인 형태로 이루어져 있다. 이러한 도시유역의 강우-유출해석은 투수 및 불투수지역의 유출량을 산정하는 유역추적과 관거 및 하도의 흐름이송을 해석하는 하도추적으로 구성된다. 하도추적은 Kinematic Wave법과 Muskingum-Cunge법 등의 수리학적 추적방식과 Muskingum법과 같은 수문학적 추적방식으로 구분된다. 기존에 사용되고 있는 강우-유출모형에서의 하도추적 방식은 도시유역과 같이 관거와 하도가 복합적으로 구성되어 있는 경우 적절한 해석방식의 채택이 힘든 실정이다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 도시지역의 주요 특징인 관거와 하도가 복합적인 형태로 이루어져 있는 유역의 유출해석방법을 구분하여 적용함으로써 실측치에 근접한 해석결과를 도출할 수 있게 흐름이송 해석방법을 다양하게 설정하여 강우-유출 특성을 분석하고 실측자료에 대한 흐름이송 해석방법별 분석결과에 대한 적합도를 비교 분석하였다.

2. FFC2Q모형 및 대상유역현황

* 정회원 · 국립금오공과대학교 토목환경공학부 교수 · E-mail: jhb365@kumoh.ac.kr

** 비회원 · 국립금오공과대학교 대학원 토목공학과 석사과정 · E-mail: lsh8362@kumoh.ac.kr

2.1 FFC2Q모형의 개요 및 특성

FFC2Q모형은 2007년 국내에서 개발된 강우-유출모형으로 2009년 하천설계기준에서 도시유역에 대한 유출해석모형으로 포함되었다. FFC2Q모형은 크게 4개의 모듈로 구성되어 있으며 각각의 모듈은 메인프로그램(FFC2Q-HYDRO)을 중심으로 총 26개의 부프로그램으로 구성되어 있다. 각 부프로그램은 강우해석, 지표면 유출해석, 관거 유출해석, 수질해석 등의 4개 모듈로 구분할 수 있으며, 각 모듈들은 부프로그램인 HYDRO에서 제어되어 실행된다.

2.2 대상유역현황

실측자료와의 비교를 통한 모의 방식별 분석결과에 대한 적합도의 분석을 위하여 관거와 하도가 복합적으로 구성되어 있는 홍제천 유역을 대상유역으로 선정하였으며 실측사상에 대한 모의를 수행하였다. 이를 위하여 대상유역에 대한 자료와 실측 강우사상을 수집하였으며, 표 1과 표 2는 대상유역의 개략적인 현황과 수집된 실측 강우사상을 나타낸 것이다.

표 1. 대상유역 현황

대상유역	유역면적(m)	유로연장(km)	형상계수(/L ²)	하상경사
홍제천	16.8	9.46	0.19	1/132(하류부) 1/31(중·상류부)

표 2. 실측 강우사상

대상유역	년 월 일 시	총 강우량(mm)	강우지속시간(min)
홍제천	1997년5월07일 09시20분 ~ 14시50분	54.5	350

3. 대상유역의 실측자료에 대한 적합도 분석

3.1 모의 분석방법

실측자료와 모의 방식별 분석결과에 대한 적합도를 파악하기 위하여 표 3과 같이 하도와 관거에 적용되는 흐름이송 해석방법을 다양하게 설정하였다.

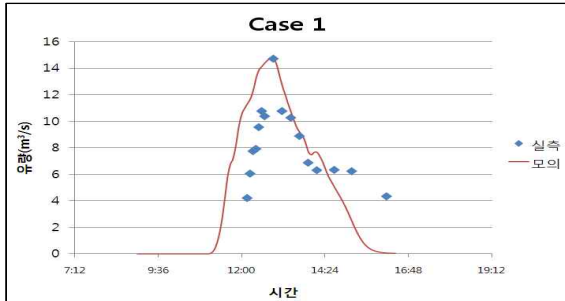
표 3. 흐름이송 해석방법

구 분	하도	관거
Case 1	Muskingum법	Muskingum법
Case 2	Muskingum-Cunge법	Muskingum-Cunge법
Case 3	Kinematic wave법	Kinematic wave법
Case 4	Muskingum법	Kinematic wave법
Case 5	Muskingum-Cunge법	Kinematic wave법

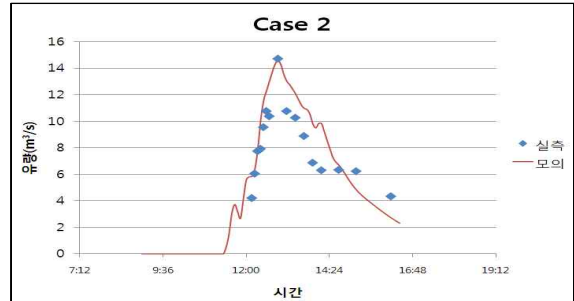
3.2 실측 유출수문곡선과 모의 유출수문곡선의 비교

본 연구에서 선정한 대상유역의 실측 강우사상에 대한 실측 유출수문곡선과 하도와 관거에 다양하게 흐

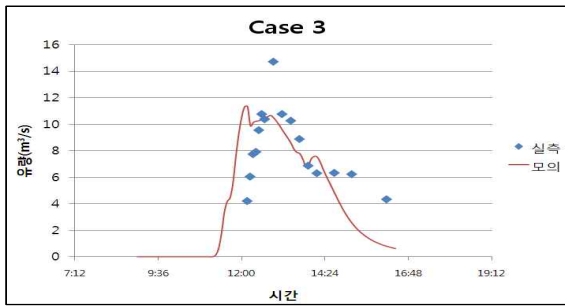
름이송 해석방법을 적용한 모의 유출수문곡선을 비교하였다. 그림 1은 대상구역의 실측 유출수문곡선과 모의 유출수문곡선을 비교 도시한 것이며, 표 4에 실측 유출수문곡선과 모의 유출수문곡선의 첨두유량 및 첨두발생시간을 나타내었다.



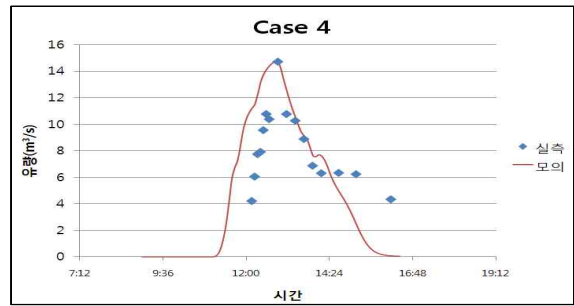
(a) Muckingum법-Muskingum법



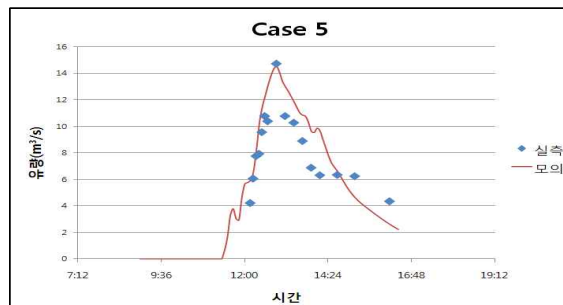
(b) Muskingum-Cunge법-Muskingum-Cunge법



(c) Kinematic Wave법-Kinematic Wave법



(d) Muskingum법-Kinematic Wave법



(e) Muskingum-Cunge법-Kinematic Wave법

그림 1. 흐름이송 해석방법에 따른 실측 및 모의 유출수문곡선의 비교

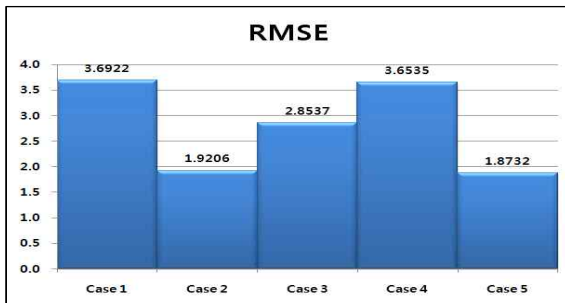
표 4. 실측 유출수문곡선과 모의 유출수문곡선의 비교

구 분	첨두유량(m³/s)			첨두발생시간(min)		
	실측값	모의값	오차(%)	실측값	모의값	오차(%)
Case 1	14.725	14.754	0.20	235	230	2.13
Case 2		14.581	0.98		235	0.00
Case 3		11.334	23.03		190	19.15
Case 4		14.769	0.30		230	2.13
Case 5		14.519	1.42		235	0.00

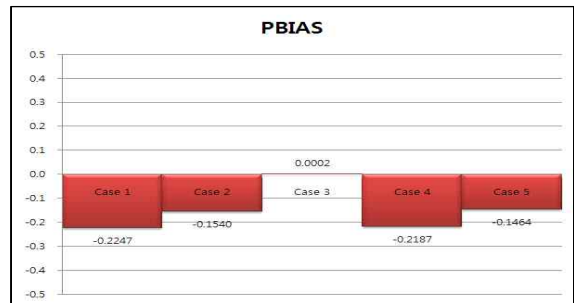
3.3 적합도 분석 결과

실측 유출수문곡선과 모의 유출수문곡선의 적합도를 검정하고자 평균제곱근오차(Root Mean Squared Error; RMSE), 평균편차비율(Percent BIAS; PBIAS), 모형효율성 계수(Nash-Sutcliffe Efficiency; NSE), 지속성 모형효율성 계수(Persistence Model Efficiency; PME)를 이용하였다.(Gupta *et al.*, 1999)

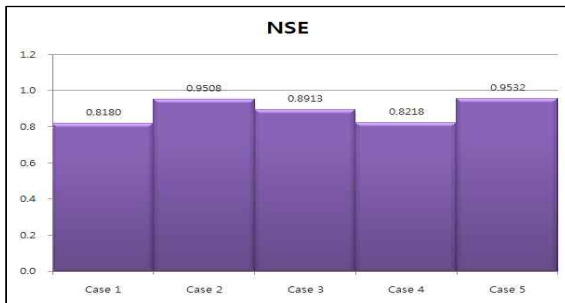
본 연구에서 적용한 분석방법에 의한 적합도 분석 결과를 그림 2에 나타내었다. RMSE, PBIAS, NSE, PME방법을 이용한 흐름이송 해석방법별 유출수문곡선의 적합도는 Case 2와 Case 5가 다른 해석방법보다 유사한 것으로 나타났으며, PBIAS방법을 제외한 RMSE, NSE, PME에서 Case 5의 적합도가 가장 양호한 것으로 분석되었다.



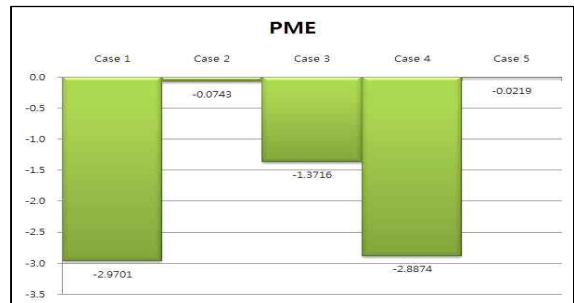
(a) 유출수문곡선의 RMSE 분석결과



(b) 유출수문곡선의 PBIAS 분석결과



(c) 유출수문곡선의 NSE 분석결과



(d) 유출수문곡선의 PME 분석결과

그림 2. 유출수문곡선의 적합도 분석 결과

4. 결론

본 연구에서는 관거와 하도가 복합적으로 구성되어 있는 유역인 홍제천 유역에 대하여 흐름이송 해석방법을 다양하게 설정하여 관거 및 하도의 적정한 흐름이송 해석방안을 제시하고자 실측 자료를 바탕으로 강우-유출해석을 실시하여 모의 방식별 분석결과에 대한 적합도를 분석하였다.

실측 유출수문곡선과 FFC2Q모형을 이용한 모의 유출수문곡선을 비교한 결과 흐름이송 해석방법별 첨두유량값과 첨두발생시간은 하도와 관거에 모두 Kinematic Wave법을 적용한 Case 3를 제외하고는 모두 유사하게 나타났다. 실측 유출수문곡선과 모의 유출수문곡선의 형태와 크기는 하도와 관거에 모두 Muskingum-Cunge법을 이용한 Case 2와 하도에 Muskingum-Cunge법, 관거에 Kinematic Wave법을 적용한 Case 5에서 유사하게 나타났다. 흐름이송 해석방법별 평균제곱근오차, 평균편차의 비율, 모형효율성 계수, 지속모형 효율성 지수를 비교검토한 결과 하도에 Muskingum-Cunge법, 관거에 Kinematic Wave법을 적용한 Case 5에서 상대적으로 가장 유사하

계 나타나 가장 적합함을 보이는 것으로 나타났다.

감 사 의 글

본 연구는 국토해양부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁 시행한 건설기술혁신사업(08기술혁신F01)에 의한 차세대홍수방어기술개발 연구단의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 허성철(2007). 유역형상과 지표면 수면형을 고려한 유출·수질해석모형 개발, 박사학위논문, 경기대학교.
2. 김영준, 이재준, 광창재(2010). 도시유역에 대한 FFC2Q모형의 적합도 및 주요매개변수 민감도 분석, 대한토목학회 정기학술대회 vol. 2010 No. 36, pp. 234~237.
3. 이재수 (2007). 수문학, chap. 11, pp. 405-444 구미서관.
4. Gupta, H.V., Sorooshian, S. and Yapo, P.O.(1999). Status of automatic calibration for hydrologic models: coparison with multilevel expert calibration, Journal of Hydrologic Engineering, Vol. 4, No. 2, pp. 135~143.